

Aplikasi Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografis Untuk Mengkaji Perubahan Koefisien Limpasan Permukaan Akibat Letusan Gunung Merapi Tahun 2010 Di Sub Das Gendol Yogyakarta

Paramukti Murwibowo
paramukti@yahoo.com

Totok Gunawan
totokgunawan@yahoo.com

Abstract

The physical changes that occur on the land of sub watershed Gendol caused by the eruption of Mount Merapi in 2010 that affect the overland flow. This study aims to examines the physical changes of land in the Watershed and its effect on the coefficient of runoff and the changes of runoff coefficients in the sub-watershed Gendol before and after the eruption of Mount Merapi in 2010. The method that uses to obtain the value of the overland flow in this study is the Cook method, with the parameters such as vegetation cover, slope, surface water accumulation and infiltration of ground. The result shows that the runoff coefficient in 2008 at 65% and changed to 67% after the eruption in 2010. The analysis showed that changes in the physical parameters of the most influential to changes in the overland flow are soil infiltration and vegetation cover.

Keywords: overland flow, Cook method, land physical changes

Abstrak

Perubahan fisik lahan yang terjadi pada sub DAS Gendol disebabkan oleh terjadinya erupsi Gunung Merapi pada tahun 2010 akan mempengaruhi koefisien limpasan permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perubahan fisik lahan dan pengaruhnya terhadap nilai koefisien limpasan permukaan dan mengetahui perubahan koefisien limpasan permukaan pada Sub DAS Gendol sebelum dan sesudah letusan Gunung Merapi tahun 2010. Metode yang digunakan untuk memperoleh nilai koefisien limpasan dalam penelitian ini adalah Metode Cook dengan mempertimbangkan faktor penutup vegetasi, kemiringan lereng, timbunan air permukaan dan infiltrasi tanah sebagai parameternya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai koefisien limpasan pada tahun 2008 yaitu 65% dan berubah menjadi 67% setelah letusan tahun 2010. Hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan parameter fisik lahan yang paling berpengaruh terhadap perubahan nilai koefisien limpasan adalah infiltrasi tanah dan penutup vegetasi.

Kata kunci: koefisien limpasan permukaan, metode Cook, perubahan fisik lahan

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat dibutuhkan bagi lingkungan hidup dan kehidupan manusia sehingga perlu dipertahankan kelestariannya. Masalah air yang sering timbul dalam suatu DAS adalah masalah banjir di musim hujan dan kekeringan di musim kemarau. Daerah aliran sungai dideskripsikan sebagai sumber air, energi dan ekosistem biologi.

Daerah Aliran Sungai dapat dianggap sebagai ekosistem, dalam suatu ekosistem tersebut terdapat hubungan antara lingkungan, biotik, lingkungan abiotik dan lingkungan budaya yang saling berinteraksi dari berbagai fungsi komponen untuk membentuk satu kesatuan yang teratur. Ekosistem DAS memiliki tiga bagian yaitu; DAS bagian hulu, DAS bagian tengah dan DAS bagian hilir (Asdak, 1995). Ketiga bagian DAS tersebut memiliki ciri yang berbeda. Daerah Aliran Sungai hulu berfungsi sebagai daerah penyangga yang mampu menyimpan air hujan, sehingga dapat berfungsi sebagai penyangga air, DAS adalah sistem hidrologi, sehingga terdapat sistem masukan dan sistem keluaran. Salah satu keluaran dari sistem DAS adalah debit aliran sungai.

Penginderaan jauh adalah ilmu atau seni untuk memperoleh informasi tentang objek, daerah atau gejala, dengan jalan menganalisis data yang diperoleh dengan menggunakan alat, tanpa kontak langsung dengan objek, daerah atau gejala yang akan dikaji (Lillesand dan Kiefer, 2004). Penyiapan informasi hidrologi melalui

citra penginderaan jauh secara langsung umumnya lebih ditujukan untuk identifikasi morfometri daerah aliran sungai (DAS), seperti bentuk dan luas DAS, pola aliran, dan lain sebagainya. Peran Teknologi Informasi sangatlah penting dalam kehidupan saat ini yaitu untuk mempermudah dalam melakukan pembaharuan data khususnya untuk penanganan data spasial, maka banyak praktisi yang memerlukan SIG (Sistem Informasi Geografis). SIG adalah sebuah sistem yang berkaitan dengan manajemen data spasial dan data-data atributnya. Yang bekerja dengan menggunakan komputer yang melingkupi kegiatan penggabungan data, penyimpanan data, editing, analisis, dan visualisasi data dan informasi spasial.

Perubahan fisik lahan yang terjadi pada sub DAS Gendol disebabkan oleh terjadinya erupsi Gunungapi Merapi pada tahun 2010 akan mempengaruhi koefisien limpasan permukaan. Dampak yang paling nyata pada saat ini adalah naiknya debit aliran sungai, perubahan fisik lahan yang terjadi serta penumpukan sedimen berupa material vulkanik menyebabkan terjadinya pendangkalan dan perubahan koefisien limpasan yang sangat signifikan di daerah aliran sungai tersebut, perubahan fisik lahan yang terjadi antara lain berubahnya kemiringan lereng, jenis tanah, timbunan air permukaan dan penutup vegetasi. Hal ini akan berakibat pada nilai koefisien limpasan permukaan yang menjadi semakin tinggi dan tentunya akan menimbulkan resiko banjir lahar

dingin di sepanjang daerah aliran sungai Gendol

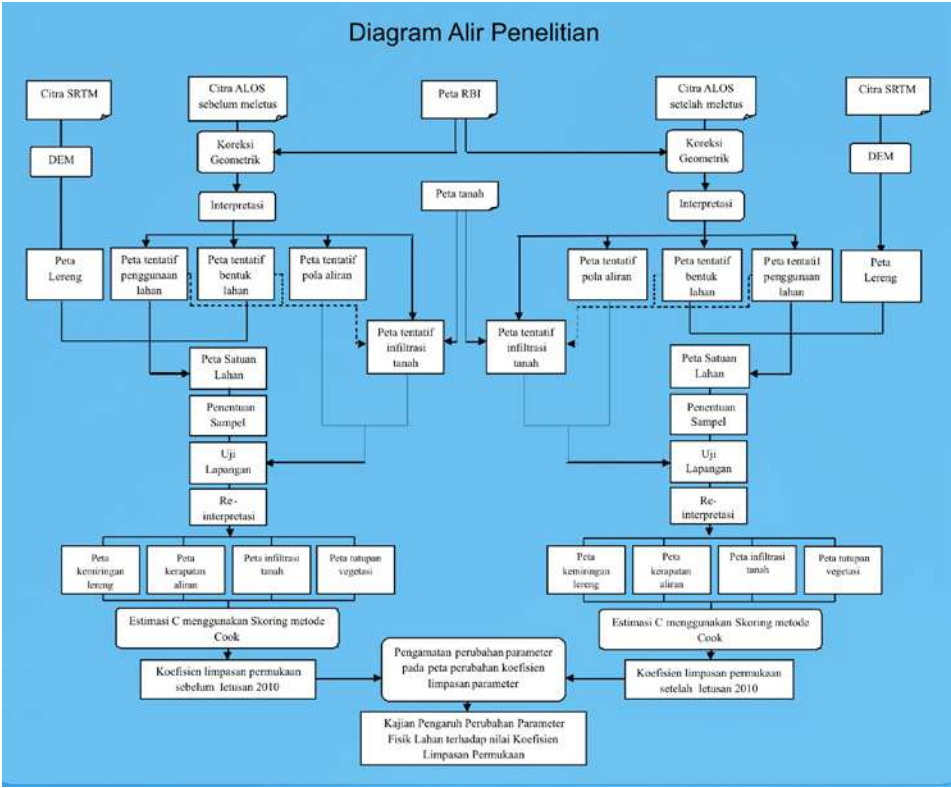
METODE PENELITIAN

Metode penelitian dibagi dalam beberapa tahap yaitu proses pengkoreksian citra secara geometrik dan radiometrik yang ditujukan untuk mengkoreksi koordinat pada citra dan memperbaiki nilai piksel pada citra sehingga sesuai dengan kenampakan yang seharusnya.

Data yang diperlukan meliputi data primer dan data sekunder. Data primer berupa citra penginderaan jauh digunakan untuk menyadap parameter-

Parameter tersebut berupa karakteristik fisik lahan dalam DAS yaitu penggunaan lahan, kemiringan lereng, infiltrasi tanah, dan kerapatan aliran.

Untuk mengestimasi koefisien limpasan dengan metode cook diperlukan informasi mengenai penggunaan lahan pada DAS yang dikaji. Faktor penggunaan lahan berperan sebagai penghambat atau mempercepat (tergantung pada kondisi penutup lahan) limpasan permukaan. Dalam penelitian ini interpretasi penggunaan lahan dilakukan sebagai pendekatan untuk menentukan kondisi kekasaran permukaan atau presentase



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

parameter yang digunakan untuk menghitung nilai koefisien limpasan permukaan berdasarkan metode Cook.

penutup vegetasi. Penutup / penggunaan lahan merupakan salah

satu informasi yang sering diturunkan dari data penginderaan jauh.

Kemiringan lereng merupakan salah satu parameter yang memiliki peran cukup besar pada berbagai proses hidrologi. Salah satu peran parameter lereng dalam proses hidrologi adalah terjadinya proses aliran Horton pada lahan terbuka. Peta kemiringan lereng diperoleh dari citra Radar SRTM resolusi 30m dengan bantuan perangkat lunak ArcGIS untuk melakukan ekstraksi data DEM (Digital Elevation Model). Pada pengolahan data DEM dari citra Radar SRTM dihasilkan berbagai parameter dalam menganalisa hidrologi permukaan khususnya untuk koefisien limpasan permukaan. Kemiringan lereng kemudian akan diklasifikasikan ke dalam empat kelas sesuai dengan klasifikasi kemiringan lereng pada metode Cook

Infiltrasi tanah adalah salah satu faktor yang mempengaruhi nilai koefisien limpasan permukaan yang merupakan proses masuknya air ke dalam tanah secara vertikal. Data mengenai infiltrasi tanah sulit diketahui secara langsung melalui citra penginderaan jauh, namun hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan terhadap kemiringan lereng, vegetasi penutup, jenis tanah dan tekstur tanah.

Timbunan air di permukaan terbentuk apabila laju presipitasi terus berlangsung dan melebihi laju infiltrasi. Pada penelitian ini, informasi timbunan air permukaan diperoleh berdasarkan interpretasi kerapatan aliran dengan asumsi bahwa semakin tinggi kerapatan aliran maka

proses pengeringan semakin cepat dan juga sebaliknya, jika kerapatan aliran rendah maka daerah tersebut selalu mengalami genangan dan drainasenya digolongkan jelek. Apabila lapisan tanah telah dijenuhi oleh kelebihan air hujan maka akan membentuk aliran permukaan.

Koefisien limpasan permukaan dihitung berdasarkan hasil penjumlahan skor pada setiap parameter yang mempengaruhinya antara lain peta kemiringan lereng, peta tutupan vegetasi, peta kerapatan aliran dan peta infiltrasi tanah. Penilaian besarnya koefisien limpasan dilakukan pada setiap satuan lahan. Hal ini bertujuan agar dalam mendapatkan nilai koefisien limpasan permukaan mendekati kenyataan di lapangan. Untuk memperoleh peta satuan lahan diperlukan peta bentuk lahan hasil dan peta penggunaan lahan dari proses interpretasi serta peta kemiringan lereng yang diperoleh melalui ekstraksi DEM dari citra SRTM. Ketiga peta tersebut kemudian ditumpang susunkan sehingga diperoleh peta satuan lahan. Nilai koefisien limpasan permukaan setiap satuan lahan diperoleh dari hasil overlay dari beberapa parameter yang mempengaruhinya. Nilai koefisien limpasan permukaan (C) seluruh DAS diperoleh melalui perhitungan nilai rata-rata tertimbang.

$$C = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_nA_n}{A}$$

Keterangan:

C = koefisien limpasan permukaan DAS

Cn = koefisien limpasan permukaan pada satuan lahan

An = luas lahan pada satuan lahan (m²)

A = luas DAS(m²)

Analisis pengaruh perubahan penggunaan fisik terhadap nilai koefisien limpasan permukaan dapat dilihat dengan membandingkan antara peta koefisien limpasan permukaan sebelum dan setelah erupsi Gunungapi Merapi tahun 2010. Pada sub DAS Gendol dikarenakan terjadi erupsi Merapi yang cukup besar pada tahun 2010, semua parameter mengalami perubahan yang cukup signifikan meliputi kemiringan lereng, penggunaan lahan, infiltrasi tanah dan timbunan air permukaan. Untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh terhadap berubahnya nilai koefisien limpasan maka perlu dilakukan pengamatan terhadap setiap parameter / karakteristik fisik lahan. Pengamatan dilakukan secara kualitatif dengan cara melakukan tumpang susun terhadap peta koefisien limpasan permukaan sebelum dan sesudah erupsi sehingga akan menghasilkan peta perubahan koefisien limpasan. Pada peta tersebut dapat dilihat daerah mana saja yang mengalami perubahan koefisien limpasan permukaannya, kemudian pada polygon dimana terdapat perubahan koefisien limpasan dapat diketahui parameter apa yang berubah pada polygon tersebut dengan cara menumpang-susunkan peta perubahan koefisien limpasan dengan peta-peta perubahan parameter fisik lahan

Uji hasil interpretasi dilakukan dengan cara melakukan pekerjaan lapangan. Pekerjaan lapangan

bertujuan untuk menguji hasil interpretasi terhadap peta tentatif hasil interpretasi dan mencari data primer hasil pengukuran langsung di lapangan. Pengambilan sampel dilakukan berdasarkan metode *purposive sampling* yang didasarkan atas satuan lahannya. Satuan lahan adalah bagian dari lahan yang mempunyai karakteristik yang spesifik.

Pekerjaan lapangan yang dilakukan meliputi :

1. Uji hasil interpretasi untuk mengetahui tingkat ketelitian dari peta tentatif parameter yang telah dibuat. Dalam interpretasi ini menggunakan matriks metode Short (1982) dalam Sutanto (1986)
2. Pengukuran kapasitas infiltrasi dilakukan di lokasi sample yang telah ditentukan dengan menggunakan alat *double ring infiltrometer*. Kapasitas infiltrasi dihitung dengan menggunakan metode Horton yaitu dengan rumus:

$$Ft = fc + (fo - fc) e^{-kt}$$

Keterangan:

Ft = laju infiltrasi maksimum

fc = laju infiltrasi minimum

fo = laju infiltrasi awal sejak mulai pemberian air pada t=0

k = konstanta permeabilitas tanah

t = waktu mulai pemberian air

3. Pengukuran lereng di lapangan berdasarkan sampel yang telah ditentukan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat abney level
4. Wawancara dengan penduduk setempat mengenai perubahan-

perubahan penggunaan lahan yang sudah terjadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan beberapa parameter fisik lahan untuk menghitung nilai koefisien limpasan permukaan berdasarkan metode Cook, parameter tersebut meliputi penutup lahan, kemiringan lereng, infiltrasi tanah dan timbunan air permukaan. Parameter lainnya adalah bentuklahan yang digunakan untuk pembuatan peta satuan lahan dan peta tanah yang digunakan untuk membantu dalam interpretasi tingkat infiltrasi tanah.

Penggunaan lahan diinterpretasi secara visual dari citra penginderaan jauh dengan cara digital onscreen. Interpretasi penggunaan lahan sebelum letusan Gunungapi Merapi menggunakan citra SPOT 5 tahun 2008 dengan resolusi spasial 10 Meter, sedangkan untuk interpretasi setelah letusan menggunakan citra DigitalGlobe Worldview perekaman tahun 2010 dengan resolusi spasial 1.8 meter. Dari hasil interpretasi diperoleh beberapa klasifikasi penggunaan lahan antara lain hutan lahan kering, kebun campuran (kerapatan tinggi dan rendah), tegalan, permukiman, lahan kosong, lahar dingin, semak belukar dan sawah irigasi. Hutan lahan kering merupakan hutan yang tumbuh di daerah perbukitan atau pegunungan pada dataran tinggi yang belum mengalami intervensi manusia biasanya berupa hutan pinus, hutan jati, dan hutan campuran lainnya, daerah ini tertutup lebih dari 90% oleh tanaman keras.

Penggunaan lahan yang paling mendominasi adalah kebun campuran. Kebun campuran dibagi menjadi dua yaitu kebun campuran kerapatan tinggi dan kebun campuran kerapatan rendah, hal ini dikarenakan setelah terjadi letusan daerah yang sebelumnya berupa lahan kosong akibat tertimbun lahan dingin dan abu vulkanik telah ditumbuhi beberapa vegetasi berkayu dengan ketinggian tidak lebih dari tiga meter dengan jarak antar pohon yang tidak terlalu rapat.

Klasifikasi penutup vegetasi diperoleh dari turunan klasifikasi penggunaan lahan oleh Malingreau yang disesuaikan dengan klasifikasi penutup vegetasi metode Cook. Klasifikasi penutup vegetasi dibagi menjadi empat menurut metode Cook yaitu wilayah yang 90% tertutup baik oleh vegetasi kayuan dan sejenisnya, wilayah dengan tutupan vegetasi 50% yang tertutup oleh pepohonan dan rerumputan, wilayah dengan tanaman penutup sedikit dan penutup alam sedikit dan wilayah tidak ada penutup efektif atau sejenisnya.

Kemiringan lereng dibagi menjadi empat kelas yaitu dari <5%, 5-10%, 10-30% hingga diatas 30%. Kemiringan lereng mempengaruhi kecepatan limpasan permukaan, semakin curam suatu lereng maka kecepatan aliran permukaan juga semakin tinggi, oleh karena itu lereng dengan klasifikasi yang terjal memiliki bobot yang semakin besar pula, yang nantinya menentukan nilai koefisien limpasan yang besar juga. Perubahan luas paling signifikan terdapat pada daerah kerucut gunungapi dan lereng

gunungapi atas dengan kemiringan lereng $>30\%$ yaitu dari 334 ha luasnya bertambah menjadi 405 ha. Perubahan ini dipengaruhi oleh timbunan material yang dimuntahkan oleh Gunungapi Merapi pada saat meletus tahun 2010.

Interpretasi kerapatan aliran bertujuan sebagai langkah pendekatan untuk memperoleh informasi mengenai timbunan air permukaan pada citra penginderaan jauh. Timbunan air permukaan merupakan salah satu parameter untuk menentukan nilai koefisien limpasan permukaan. Secara keseluruhan, sub DAS Gendol memiliki kerapatan aliran sebesar $7,26 \text{ mil/mil}^2$ yang berarti terjadi pengeringan yang terlalu cepat di wilayah tersebut. Semakin tinggi kerapatan aliran maka wilayah tersebut jarang mengalami penggenangan dan sebagian besar air hujan yang jatuh akan berubah menjadi aliran permukaan.

Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa sub DAS Gendol didominasi oleh klasifikasi kerapatan aliran yang tinggi atau sangat rapat yaitu $>5 \text{ mil/mil}^2$. Luas wilayah ini sebelum terjadi erupsi pada tahun 2010 adalah sebesar 2876 ha dan mengalami perubahan menjadi 2553 ha setelah terjadi erupsi.

Infiltrasi tanah merupakan proses masuknya air ke dalam tanah melalui permukaan tanah. Didalam infiltrasi dikenal dua istilah yaitu laju infiltrasi dan kapasitas infiltrasi. Kapasitas infiltrasi merupakan laju maksimum dari tanah untuk mengabsorpsi air dalam keadaan tertentu sedangkan laju infiltrasi

adalah volume air yang masuk kedalam tanah persatuan waktu persatuan luas dan dinyatakan dalam satuan cm/jam . Perubahan luasan untuk tingkat laju infiltrasi sangat rendah salah satunya disebabkan oleh erupsi Gunungapi Merapi yang berdampak pada perubahan penggunaan lahan. Erupsi tersebut menyebabkan hilangnya beberapa tutupan lahan vegetasi yang kemudian berubah menjadi tumpukan material lahar dingin dan lahan kosong.

Tahapan uji akurasi interpretasi tidak dilakukan pada seluruh daerah penelitian namun hanya pada lokasi sampel yang ditentukan, penentuan lokasi sampel menggunakan metode *stratified random sampling*, metode ini digunakan karena membutuhkan jumlah sampel yang relatif sedikit untuk setiap kategori pada peta tematik yang digunakan. Uji akurasi hasil interpretasi peta tentative penggunaan lahan adalah sebesar $93,3\%$. Proses wawancara terhadap penduduk setempat juga dilakukan guna mengetahui keadaan penggunaan lahan sebelum terjadi erupsi Gunungapi Merapi tahun 2010 dimana proses lapangan dilakukan pada tahun 2012 sehingga terdapat kemungkinan terjadi perubahan penggunaan lahan pada lokasi-lokasi tertentu.

Ketelitian interpretasi untuk kemiringan lereng adalah $87,5\%$. Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa interpretasi kemiringan lereng dengan menggunakan citra SRTM dan data kontur RBI yang diolah menjadi DEM mampu menghasilkan tingkat ketelitian yang tinggi. Untuk data hasil pengukuran infiltrasi tanah pada setiap

Kelas Koefisien Limpasan	Total Skor	Luas (ha)	
		2008	2012
Normal	25-50	201	168
Tinggi	50-75	2864	2450
Ekstrim	75-100	607	1053

sampel dihitung dengan menggunakan metode Horton lalu diklasifikasikan menurut metode Richard dan Cossens (1965 dalam ILRI, 1974). Dari hasil perhitungan kedelapan sampel lapangan yang diambil, diperoleh klasifikasi laju infiltrasi sangat rendah yaitu 1,2 mm/jam dan 2 mm/jam; laju infiltrasi rendah dengan nilai 12 mm/jam; laju infiltrasi sedang dengan nilai 22,5 mm/jam dan laju infiltrasi tinggi dengan nilai 37 mm/jam, 66 mm/jam; 56 mm/jam dan 371 mm/jam. Berdasarkan hasil perhitungan matriks ketelitian, peta tentative infiltrasi tanah di daerah penelitian memiliki tingkat akurasi sebesar 75%.

Perhitungan koefisien limpasan permukaan dilakukan dengan menggunakan metode Cook. Nilai koefisien limpasan permukaan diperoleh dari penjumlahan skor parameter-parameter fisik lahan antara lain penutup vegetasi, infiltrasi, timbunan air permukaan / kerapatan aliran dan kemiringan lereng. Perhitungan nilai koefisien limpasan didasarkan pada setiap satuan lahan sehingga diperoleh hasil yang tertimbang. Hasil dari penjumlahan skor parameter pada setiap satuan lahan diklasifikasikan menjadi empat kelas yaitu rendah (total skor <25), normal (total skor 25-50), tinggi (total

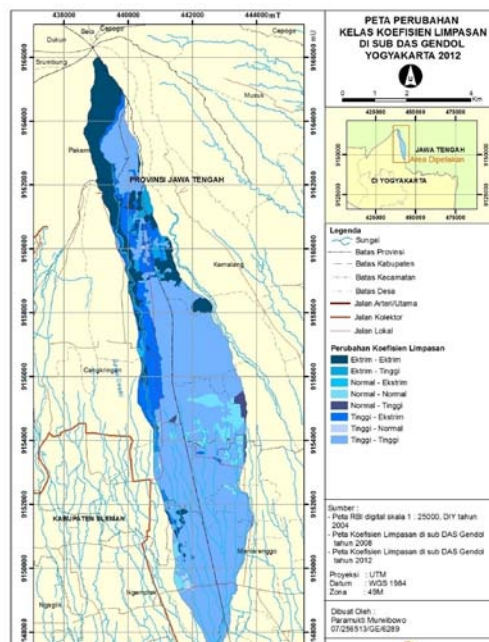
skor 50-75) dan ekstrim (total skor >75).

Tabel 1. Perubahan luasan kelas koefisien limpasan.

Sumber : Peta koefisien limpasan tahun 2008 dan 2012

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai koefisien limpasan di sub DAS Gendol sebelum terjadi letusan Gunungapi Merapi tahun 2010 sebesar 0,65 dan setelah erupsi dengan pengambilan data tahun 2012 sebesar 0,68. Dikarenakan pada sub DAS Gendol terdapat penggunaan lahan hutan dan vegetasi kerapatan tinggi lainnya maka nilai koefisien limpasan dikurangi 10% karena pengaruh intersepsi sehingga pada tahun 2008 koefisien limpasan di sub DAS Gendol sebesar 0,58 dan 0,61 pada tahun 2012. Nilai ini menunjukkan bahwa sub DAS Gendol memiliki kelas koefisien limpasan permukaan tinggi.

Analisis pengaruh perubahan fisik lahan yang paling berpengaruh



Gambar 2. Peta Perubahan Kelas Koefisien Limpasan

terhadap perubahan nilai koefisien limpasan dilakukan dengan cara menggabungkan antara hasil overlay peta perubahan parameter dengan peta perubahan koefisien limpasan. Dari proses tersebut nantinya dapat diketahui secara kualitatif perubahan fisik lahan apa saja yang terjadi di setiap polygon pada peta perubahan koefisien limpasan. Dari 43 poligon yang mengalami perubahan koefisien limpasan, 36 diantaranya terdapat perubahan parameter berupa penutup vegetasi, 35 diantaranya terdapat perubahan parameter laju infiltrasi tanah, 18 diantaranya terdapat perubahan parameter kerapatan aliran / timbunan air permukaan dan yang terakhir 11 diantaranya terjadi perubahan kemiringan lereng. Dari uraian diatas dapat disimpulkan secara kualitatif bahwa perubahan parameter fisik lahan yang paling berpengaruh terhadap berubahnya nilai koefisien limpasan permukaan di sub DAS Gendol Yogyakarta adalah laju infiltrasi tanah dan penutup vegetasi.

KESIMPULAN

1. Nilai koefisien limpasan di sub DAS Gendol sebelum terjadi letusan Gunungapi Merapi tahun 2010 sebesar 0,65 dan setelah erupsi dengan pengambilan data tahun 2012 sebesar 0,67. Dikarenakan pada sub DAS Gendol terdapat penggunaan lahan hutan dan vegetasi kerapatan tinggi lainnya maka nilai koefisien limpasan dikurangi 10% karena pengaruh intersepsi sehingga pada tahun 2008 koefisien limpasan di

sub DAS Gendol sebesar 0,58 dan 0,60 pada tahun 2012. Nilai ini menunjukkan bahwa sub DAS Gendol memiliki kelas koefisien limpasan permukaan tinggi.

2. Nilai persentase uji akurasi penggunaan lahan adalah 93,3%, kemiringan lereng sebesar 87,5% dan infiltrasi tanah sebesar 75%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan citra penginderaan jauh SPOT 5 dan Worldview cukup baik untuk mengekstraksi beberapa parameter fisik lahan yang digunakan.
3. Secara kualitatif perubahan parameter fisik lahan yang paling berpengaruh terhadap berubahnya nilai koefisien limpasan permukaan di sub DAS Gendol Yogyakarta adalah laju infiltrasi tanah dan penutup vegetasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Danoedoro, P. 1996. *Pengolahan Citra Digital*, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Dibyosaputro, S. 2001. *Survei Pemetaan dan Geomorfologi*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Gunawan, T. 1991. *Penerapan Teknik Penginderaan Jauh Untuk Menduga Debit Puncak Menggunakan Karakteristik Fisik DAS (Studi Kasus di*

- DAS Bengawan Solo).
Desertasi. Fakultas Pasca
Sarjana, IPB, Bogor.
- ILRI. 1974. *Drainage Principles and Application*. Netherland :
Wegnigen
- Jensen, J.R. 2005. *Introductory Digital Image Processing*.
United States of America:
University of South California
- Krisna, A. 2012. *Pemodelan Dinamis Limpasan Permukaan Dengan Integrasi Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus sub DAS Kuning Yogyakarta)*.
Skripsi. Fakultas Geografi,
UGM, Yogyakarta.
- Linsley, R.K., M.A. Kohter and J.L.H Paulhus, 1975. *Hydrology for Engineers*. Mc Graw-Hill/Kogakusha Ltd., Tokyo
- Lillesand, T.M and R.W Kiefer. 2004, *Remote Sensing And Image Interpretation*. University of
Minesota, Madison
- Malingreau, J.P. 1982, *A Land Cover / Landuse Classification for Indonesia*, PUSPICS, Fakultas
Geografi, Universitas Gadjah
Mada, Yogyakarta
- Meijerink, A.M.. 1970. *Photo-Interpretation in Hydrology a Geomorphology Approach*.
ITC. Enschede.
- Seyhan, E. 1995. *Dasar-dasar Hidrologi*. Terjemahan : Sentot
Subagyo. Yogyakarta : Gadjah
Mada University Press.
- Soewarno. 1991. *Hidrologi Pengukuran dan Pengelolaan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*. Bandung :
Penerbit Nova.
- Sudaryatno, 2002. *Estimasi Debit Puncak Di Daerah Miran Sungai Garang Semarang Dengan Menggunakan Teknologi Inderaja Dan Sistem Informasi Geografis*. Fakultas
Geografi, UGM, Yogyakarta.
- Sutanto, Prof. Dr, Jilid I. 1986, *Penginderaan Jauh Dasar*,
Fakultas Geografi, Universitas
Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sutanto, Prof. Dr, Jilid II. 1987, *Penginderaan Jauh Dasar*,
Fakultas Geografi, Universitas
Gadjah Mada, Yogyakarta.